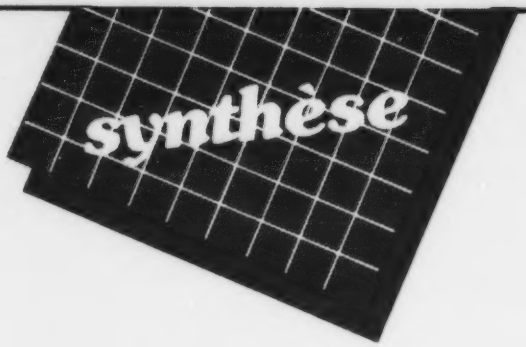


L'ÉROSION EN ZONE AGRICOLE: ORIGINE, IMPACT ET MÉTHODES DE CONTRÔLE

par
Guy Trencia

Novembre 1987

Québec

92-03009/

SYNTHÈSE

L'érosion en zone agricole: origine, impact et méthodes de contrôle

Guy Trencia
Biologiste

Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche
Direction de la Gestion des Espèces et des Habitats
Service des Habitats Fauniques

Novembre 1987

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
1er trimestre 1988

ISBN: 2-550-18555-2

TABLE DES MATIÈRES

Page

Table des matières III
Liste des figures VI
INTRODUCTION 1

I LES FORMES D'ÉROSION ET LEUR AMPLEUR AU QUÉBEC 3

1.1 Érosion dans le champ 3

1.1.1 L'érosion en nappe (Sheet erosion) 4
1.1.2 L'érosion en rigole (Rill erosion) 4
1.1.3 Le ravinement (Gully erosion) 4
1.1.4 L'érosion éolienne 4

1.2 Érosion du lit et des berges 4

1.2.1 Sappement (Undercutting) 5
1.2.2 Mouvement de Masse 9
1.2.3 Ravinement (Rill erosion, Gully erosion) 10
1.2.4 Érosion régressive ou glissement rétrogressif 10

1.3 Ampleur et importance relative de ces formes d'érosion 10

1.3.1 Contribution des champs 11
1.3.2 Contribution des berges 12
1.3.3 Contribution totale 12

II IMPACT DE L'ÉROSION ET DE LA SÉDIMENTATION 15

Page

2.1 Impact sur l'hydrologie 15
2.2 Sur les activités agricoles 15
2.3 Sur les eaux de consommation 16
2.4 Sur les ouvrages d'art 17
2.5 Sur la faune 17
2.6 Sur la récréation 18

III LES MÉTHODES DE CONTRÔLE 19

3.1 Contrôle de l'érosion en champ 19

3.1.1 Contrôle de l'érosion éolienne..... 19
3.1.2 Réduction de l'impact des gouttes de pluie 20
3.1.3 Réduction du ruissellement 21
3.1.4 Réduction de la vitesse d'écoulement 22
3.1.5 Augmentation de la cohésion du sol 24

3.2 Contrôle de l'érosion en cours d'eau et en berge 25

3.2.1 Entretien de la végétation riveraine 27
3.2.2 Enlèvement des débris et des sédiments 29
3.2.3 Stabilisation par la végétation 29
3.2.4 Stabilisation par des matériaux inertes 30
3.2.5 Reconstruction des berges 31
3.2.6 Sorties de drains et de fossés 32
3.2.7 Interception du ruissellement 33
3.2.8 Interception de la nappe et des sorties de drain 33
3.2.9 Aménagement de seuils 34
3.2.10 Aménagement de cours d'eau allégé 34

Page

IV DISCUSSION ET CONCLUSION 35

V BIBLIOGRAPHIE 36

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 Lignes d'égale vitesse dans différents types de sections d'écoulement 6

Figure 2 Détérioration d'un cours d'eau par les glaces 7

Figure 3 Évolution d'un cours d'eau affecté par la boulance 8

Figure 4 Effondrement d'un talus lorsque la stabilité mécanique n'est plus respectée 9

Figure 5 Potentiel d'érosion des sols de la Yamaska 13

Figure 6 Zone de production de sédiments fluviaux dans le bassin de la rivière Holiday, comté d'Oxford 14

Figure 7 Terrasses de contour et méthode de culture adaptée avec une charrue conventionnelle 23

Figure 8 Modèles variés de terrasses pour les cultures en contour des pentes 23

Figure 9 Seuil construit en blocs de pierre carrés 24

Figure 10 Illustration de différents types de systèmes racinaires chez des plantes de prairies dans un même type de sol 28

Page

Figure 11 Perré protecteur conçu pour une pente 1:2, des vagues de 500 mm et une vitesse maximum de courant de 1.5 m/sec 31

Figure 12 Stabilisation par enrochement et plantation combinés 32

Figure 13 Sortie de drain protégée contre l'érosion 32

Figure 14 Interception des eaux de ruissellement 33

INTRODUCTION

La qualité des cours d'eau est une préoccupation importante qui trouve sa valeur dans la multitude des usages reliés à l'eau. De plus, l'eau est aussi le milieu de vie indispensable de plusieurs espèces de faune et de flore (Sarrazin et al, 1983).

Mais les usages mal proportionnés ou excessifs réduisent ou font disparaître la qualité de l'eau. Au Québec, les usages qui dégradent le plus la qualité de l'eau sont les rejets d'eaux usées municipales et industrielles et la pollution attribuable à l'agriculture (Belzile et al., 1980, Hydrotech, 19 , Gaudreau et al., 1986). Les rejets de substances toxiques et les précipitations acides sont deux autres rejets industriels qui altèrent sérieusement la qualité de l'environnement et de l'eau, en particulier.

Mises à part ces deux dernières formes de pollution, les rejets industriels en charge polluante (DBO_5) équivalent à ceux d'une population d'environ 30 millions d'habitants alors que la pollution agricole attribuable aux productions animales émet des matières créant une demande biologique en oxygène (DBO_5) équivalente à 19 millions d'habitants (Belzile et al., 1980). Elle émet de l'azote et du phosphore que produiraient respectivement des populations de 28 et de 52 millions d'habitants.

Il faut ici distinguer la pollution ponctuelle et la pollution diffuse. Cette dernière origine d'événements météorologiques générateurs de ruissellement et est souvent imperceptible (Dion, 1987). Les principales sources de pollution diffuse, reliées à la production agricole résultent de l'érosion des sols, des fumiers, des fertilisants, des pesticides et du rejet des eaux d'irrigation et de drainage. Gosselin (1987) maintient que de 0 à 30% des sédiments transportés par le ruissellement atteignent les cours d'eau.

La charge solide transportée par les cours d'eau résulte donc de toutes ces sources précédemment citées auxquelles s'ajoute l'érosion des berges et du lit des cours d'eau.

À partir de la littérature disponible, le présent travail examine les formes d'érosion en milieu agricole au Québec, leur ampleur, leur impacts et les méthodes de contrôle, en particulier par la stabilisation des berges par la végétation.

I LES FORMES D'ÉROSION ET LEUR AMPLEUR AU QUÉBEC

On doit distinguer les formes d'érosion selon le milieu où elles se produisent car les mesures correctives n'y seront pas les mêmes. L'érosion en champ s'exerce à la faveur du vent ou de l'eau qui agissent comme agents d'érosion et vecteurs des sédiments transportés vers les cours d'eau ou un autre lieu de dépôt. L'érosion du lit et des berges, pour sa part, est un phénomène en apparence banal mais qui est responsable d'une partie variable mais souvent importante de la charge solide des cours d'eau.

1.1 Érosion dans le champ

Les travaux de culture laissent périodiquement le sol vulnérable au vent et à l'eau. Le Thames River Implementation Committee (1982_a) distingue l'érosion en nappe, l'érosion en rigoles, le ravinement et l'érosion éolienne.

1.1.1 L'érosion en nappe (Sheet erosion)

L'érosion en nappe se produit quand l'eau de pluie martèle le sol et en détache des particules, ruisselle en surface plutôt que de s'infiltrer et fait glisser les particules en nappe vers le bas de la pente. Les particules les plus fines et légères sont emportées ce qui contribue à la déstructuration du sol. L'érosion en nappe se produit quand le sol est saturé d'eau, particulièrement au printemps alors que l'absence de végétation réduit l'évapotranspiration et que fond la neige. Les violents orages de l'été sont aussi des générateurs d'érosion en nappe parce qu'ils saturent le sol rapidement et occasionnent un important ruissellement de surface.

1.1.2. L'érosion en rigole (Rill erosion)

L'érosion en rigole se manifeste quand le ruissellement se concentre et emprunte un corridor qui s'agrandit et se creuse.

1.1.3 Le ravinement (Gully erosion)

Le ravinement est une forme avancée de l'érosion en rigole qui se double d'un problème physique à la circulation de la machinerie agricole.

1.1.4 L'érosion éolienne

L'érosion éolienne s'exerce dans les grandes plaines où le vent rencontre peu d'obstacle et qu'il soulève les particules de sol les plus légères, en particulier la matière organique sèche. Même s'il est plus grave dans les prairies de l'ouest, le Conseil des Sciences du Canada (1986) estime que 400 000 m^3 de sols organiques sont érodés chaque année au Québec.

1.2 Érosion du lit et des berges

Le vocabulaire et les classifications utilisés pour traiter de l'érosion en cours d'eau varient d'un auteur à l'autre. Les catégories suivantes couvrent cependant la plupart des formes d'érosion mentionnées dans la littérature (Gray et Leiser, 1982; Lagacé, 1979; Landry et Mercier, 1983; Ontario Conservation Authorities, 1981; St-Yves, 1983; Thames River Implementation Committee, 1982b).

1.2.1 Sappement (Undercutting)

Sappement par le courant:

Le courant peut attaquer les berges lors des crues, en particulier autour des ouvrages mal protégés (ponts, ponceaux, sorties de fossés et de drains) et dans la partie concave des courbes du cours d'eau. Le bas du talus est attaqué par le courant ce qui rend le haut du talus sensible à un mouvement de masse. L'effet du courant peut varier selon la forme de la section d'écoulement (fig. 1).

Sappement par les débris:

Les déchets rejetés à l'eau, les arbres et les arbustes coupés, renversés ou emportés et les remblais peuvent dévier le courant ou le concentrer de sorte qu'il s'attaque à l'une des berges. L'effet est le même que précédemment mentionné.

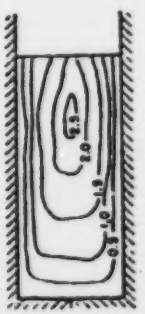
Tableau 1: Types d'érosion en cours d'eau et en berge

En berge:	Sappement	- par le courant - par les débris - par les glaces - par boulance
	Mouvement de Masse	- écroulement - glissement rotationnel - glissement en plan
	Ravinement	
En lit:	Érosion rétrogressive	

a) canal trapézoïdal

b) canal triangulaire

c) canal circulaire plus profond.



d) canal rectangulaire étroit

e) Cours d'eau naturel

Figure 1: Lignes d'égale vitesse dans différents types de sections d'écoulements. (Chow, 1959 dans Lagacé, 1979.)

Action des glaces:

La bordure de glace peut attaquer la rive lorsque le couvert de glace s'affaisse suite à l'abaissement du niveau d'eau (fig. 2). Les glaces en mouvement peuvent aussi briser les rives lorsque le courant les déplace vers l'aval.

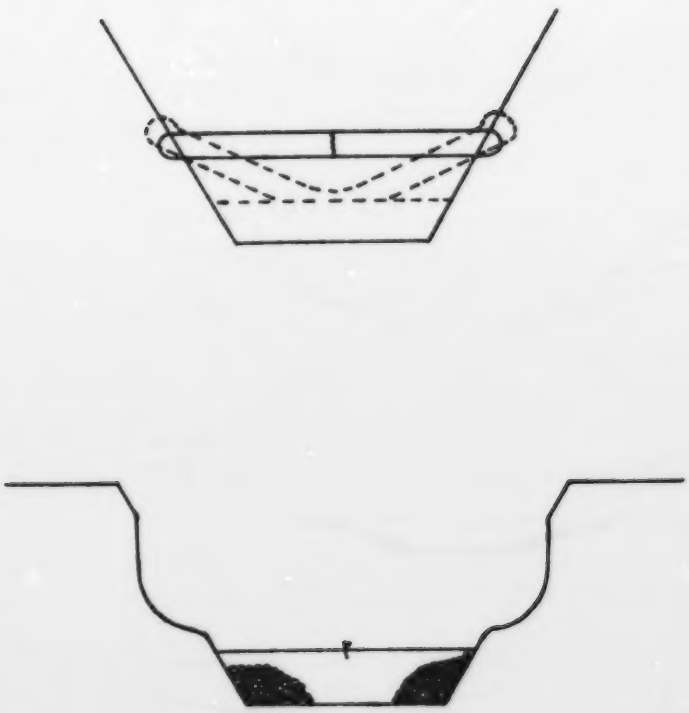


Figure 2: Détérioration d'un cours d'eau par les glaces. (Tiré de Lagacé, (1979).

Boulance:

Le suintement (Seepage) d'une nappe d'eau souterraine limitée par une couche imperméable peut suffire à emporter graduellement le talus au travers duquel sort cette eau (fig. 3). Le talus devient plus abrupt et se prête aux mouvements de masse. La boulance se manifeste surtout dans les cours d'eau fraîchement creusés ou perturbés.

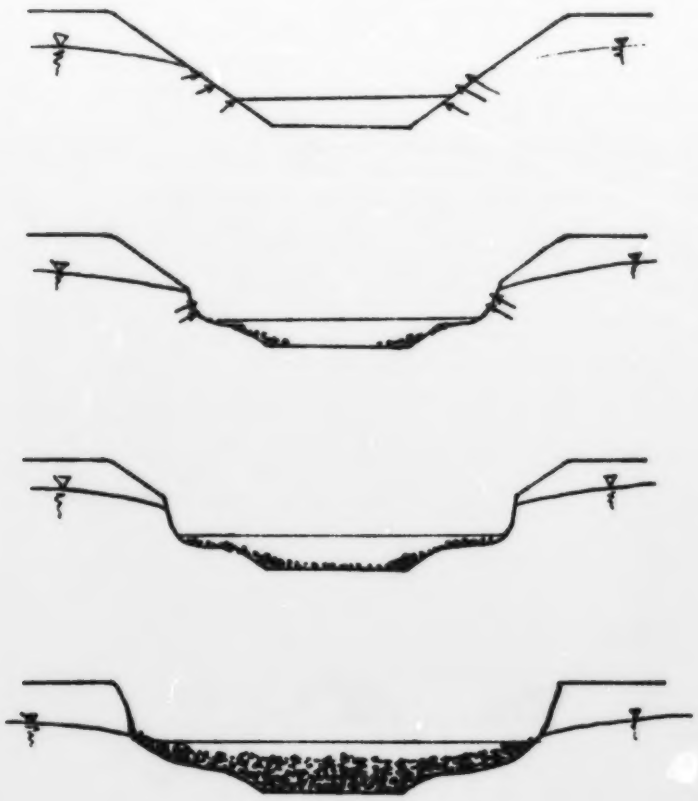
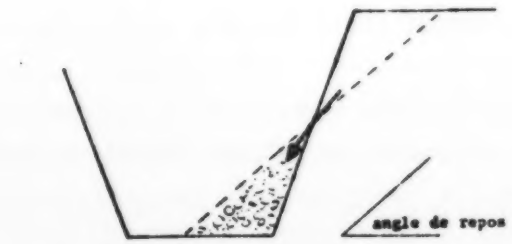


Figure 3: Évolution d'un cours d'eau affecté par la boulance (Tiré de Lagacé, 1979).

1.2.2 Mouvement de Masse

Écroulement ou éboulis (Sloughing):

Des particules de sol subissent une force gravitationnelle plus forte que la force de cisaillement ou de friction qui les tient en place. Ce phénomène est plus fréquent sur les sols pulvérulents alors que le haut du talus tombe en bas de pente (fig.4a).



a) Sol pulvérulent

b) Sol Cohésif - glissement ou rupture en coin

c) Sol cohésif - rupture profonde selon le cercle de rupture

Figure 4: Effondrement des talus lorsque la stabilité mécanique n'est plus respectée (Tiré de Lagacé, 1979).

Glissement rotationnel ou en plan (Slumping):

Dans les sols cohésifs, le sol est retenu en une masse. Dans une pente de talus trop forte, le glissement en plan se produit (fig. 4b); par ailleurs, dans un cours d'eau profond, le bas du talus n'est pas assez lourd et ancré pour soutenir le haut et le glissement rotationnel survient (fig. 4c; Lagacé, 1979) surtout lorsque le sol est saturé d'eau et que le niveau d'eau du cours d'eau s'est abaissé.

1.2.3 Ravinement (Rill erosion, Gully erosion)

Le ruissellement provenant des terrains vers le cours d'eau peut provoquer du ravinement en berge surtout si le sol est dénudé de végétation.

1.2.4 Érosion régressive ou glissement rétrogressif

Un événement tel que l'installation d'une sortie de drain ou de fossé mal aménagée peut éroder le lit du cours d'eau, créer un seuil instable et causer un enchaînement de glissement de l'aval vers l'amont (Lancery et Caron, 1983).

1.3 Ampleur et importance relative de ces formes d'érosion

Il est difficile d'évaluer la contribution respective de l'érosion en champ et de l'érosion en berge à la charge solide des cours d'eau car les auteurs se sont spécialisés sur l'un ou l'autre des aspects sans que l'intégration des résultats ne soit faite. De plus, les résultats obtenus varient d'un bassin versant à l'autre selon leurs caractéristiques de sol, de couverture végétale, de pente, d'usage agricole, de gestion de fumiers, etc...

1.3.1 Contribution des champs

L'évolution de l'agriculture a été très marquée entre 1961 et 1981: diminution du nombre de fermes, augmentation de la surface moyenne des fermes, mécanisation plus poussée, modification des cultures, etc... (Kesterman et al., 1984; Pelletier, 1987). Ceci a amené une série de problèmes de dégradation des sols tels que perte de 30 à 35% du carbone organique, diminution de la résistance du sol au martellement de la pluie, compaction des sols, diminution de l'enracinement et des rendements, diminution de l'infiltration et augmentation du ruissellement de surface et de l'érosion (Gosselin, 1987).

Si l'effet de l'érosion sur la production agricole ne semble limité qu'à certaines séries de sols ondulés ou vallonnés, c'est que l'usage massif d'engrais a permis de maintenir des niveaux de récolte comparables à ceux du passé (Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts, 1984; Conseil des sciences du Canada, 1986). Des expériences ont montré que des événements variés avaient érodé au Québec entre 3 kg/ha et 34 000 kg/ha (34 tonne/ha) selon que le sol était à nu ou en végétation, que la pente variait entre 10 et 18%, que la pluie était instantanée ou étalée dans le temps et selon le type de sol (Mehuys, 1981).

À partir de l'équation universelle des pertes de sol qui utilise des facteurs connus et mesurables, Payan et al. (1983) ont estimé que l'érosion variait entre moins de 5 tonnes et plus de 75 tonnes/ha pour le bassin de la rivière Yamaska (fig. 5). Ils ajoutent que l'érosion peut y être de beaucoup supérieure à celle prédite par l'équation pour des sols presque plats. De plus Switzer - Howse (1983) précise que l'équation n'a pas été prévue pour estimer la quantité de sédiments qui rejoint les cours d'eau, ni tenir compte de l'érosion provoquée par la fonte des neiges et le ruissellement printanier.

En comparaison, Coote (1983) rapporte des mesures de l'érosion qui atteignaient 0.14 à 30.7 tonnes/ha en 92 jours en Colombie-Britannique le long du Fraser et de 1 à 40 tonnes/ha dans la région de la rivière Peace; en Saskatchewan, des pertes de 200 à 600 tonnes/ha dans les dernières vingt années au sommet de pentes; au Manitoba, une érosion éolienne de 160 tonnes/ha en deux jours; en Nouvelle-Écosse, une érosion de 2.3 à 3.3 tonnes/ha.

La partie de ces sédiments qui rejoint les cours d'eau est difficile à mesurer. Switzer - Howse (1982) rapporte que moins de 25% de la surface agricole contribue à la charge sédimentaire des Grands Lacs bien que ce pourcentage puisse varier selon la saison. La figure 6 tirée du Ontario Conservation Authorities (1981) confirme cette contribution inégale des zones cultivées à la charge sédimentaire des cours d'eau. Gosselin (1987) affirme que, d'une façon générale, de 0 à 30% des sédiments transportés par le ruissellement atteignent les cours d'eau.

1.3.2 Contribution des berges

Switzer-Howse (1982) rapporte que dans le bassin des Grands Lacs, la charge sédimentaire peut être formée jusqu'à 30% de matériel érodé sur les berges des cours d'eau, des fossés et autour des ouvrages en travers du cours d'eau; elle est de beaucoup supérieure à 30% dans les bassins versants où la proportion venant des champs est plus faible ou dans les bassins où les ramifications sont nombreuses et mal en point. Le Ontario Conservation Authorities (1981) mentionne les résultats d'une étude où 45% des berges de 16 petits bassins versants étaient érodées dont la moitié en érosion active en glissement rotationnel. A. St-Yves (comm. pers.) mentionne que pour un petit bassin expérimental de la plaine laurentienne (cours d'eau des Anges), 70% des berges étaient en mauvais état.

Le Ontario Conservation Authorities (1981) estime qu'entre 5 et 50% de la charge sédimentaire provient des berges.

1.3.3 Contribution totale

Les mesures de la charge sédimentaire des cours d'eau du Québec se sont faites proportionnellement à l'intensité des activités humaines mais de façon relativement limitée (Hydrotech, 198). Le régime sédimentologique des tributaires du St-Laurent est encore peu connu même si certains éléments le sont.

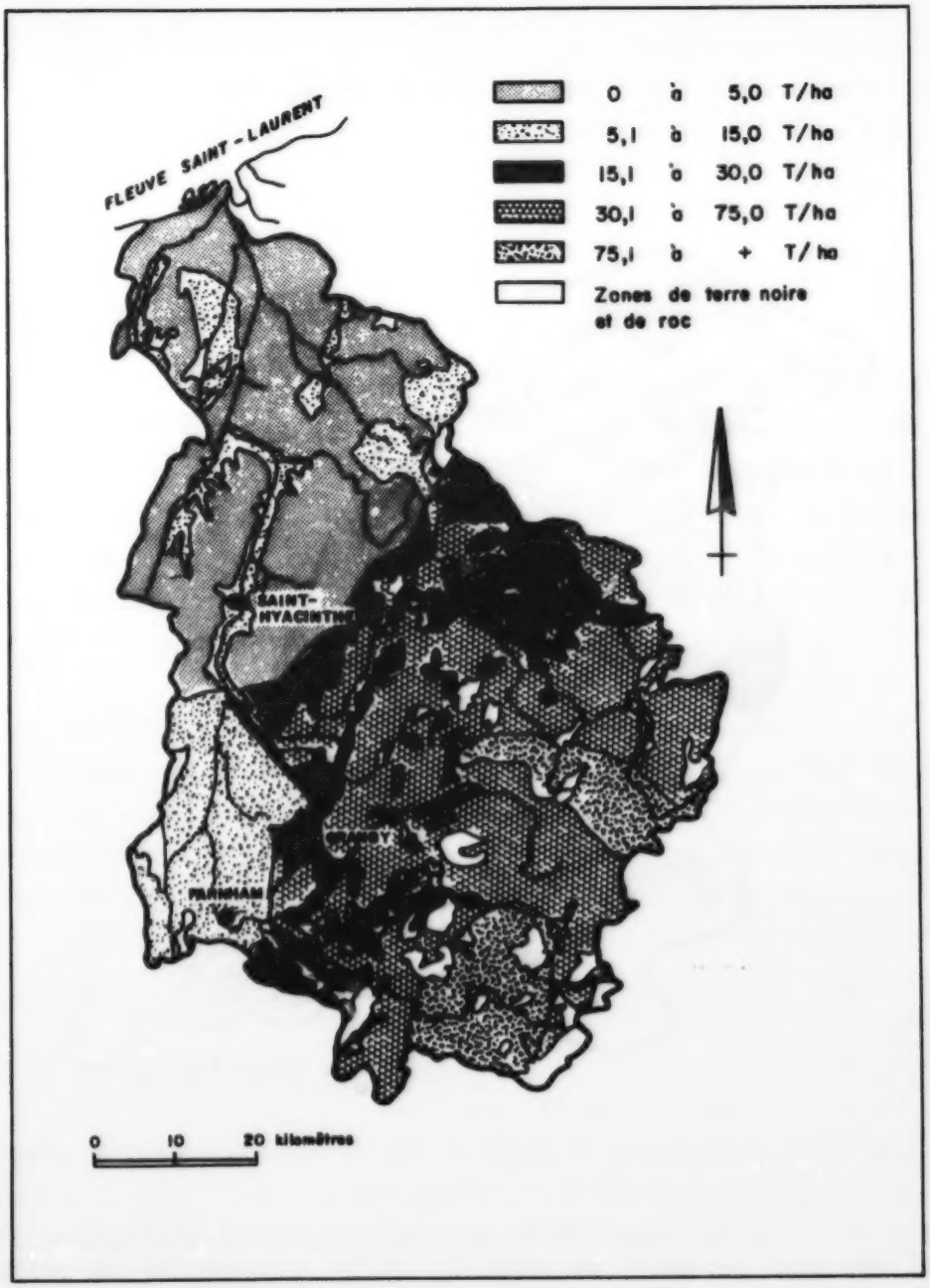


Figure 5: Potentiel d'érosion des sols de la Yamaska (Extrait de Payen et al., 1983).

Figure 6: Zones de production de sédiments fluviaux dans le bassin de la rivière Holiday, compté d'Oxford (Wall, 1977 dans Ontario Conservation Authorities, 1981).

II IMPACT DE L'ÉROSION ET DE LA SÉDIMENTATION

Étant donné les nombreux usages de l'eau et des cours d'eau, les impacts de l'érosion, et la sédimentation qui lui est conséquente, se feront sentir à plus d'un égard.

2.1 Impact sur l'hydrologie

Quand une rivière avec une délimitation mobile demeure à son état naturel, elle évolue jusqu'à ce que ses paramètres hydrauliques principaux, par exemple sa largeur, sa profondeur et sa pente, s'ajustent aux conditions d'écoulement dominant ainsi qu'à sa charge sédimentaire et à la taille des particules à transporter. Si les conditions sont modifiées, la rivière tentera d'ajuster sa géométrie aux conditions nouvelles qui lui sont imposées avec parfois des effets désastreux (Environnement Canada, 1981).

Dépendant des conditions du milieu et de l'érosion qui s'exerce, les effets sur l'écoulement de l'eau seront variés. Les particules érodées se déposeront dans les zones plus lentes ce qui pourra diminuer la capacité de la rivière à véhiculer le débit d'eau qu'elle devrait accommoder. Des berges pourront s'éroder à cause de l'obstruction à l'aval causée par la sédimentation.

2.2 Sur les activités agricoles

Le rapport du Comité sénatorial sur la dégradation des sols commence ainsi.

> **"L'agriculture canadienne traverse actuellement la crise la plus grave de son histoire et si le Canada ne prend pas sous peu les mesures qui s'imposent, il risque de perdre une partie importante de son potentiel agricole."**

Ce comité affirme que dans le sud-ouest de l'Ontario, l'érosion a provoqué une perte de 30 à 40% des récoltes de maïs. Au Québec, la qualité de la terre arable et l'application croissante d'engrais ont masqué l'envergure de l'érosion des sols. L'acidification des sols est, en partie, une conséquence de l'application excessive d'engrais. Au Québec, une partie importante des 1.65 millions d'hectares consacrés aux céréales et aux cultures fourragères ont un pH assez faible pour justifier l'application de chaux (Conseil des Sciences du Canada, 1986).

Le compactage des sols est le principal problème de dégradation des sols au Québec selon cette même source. Le compactage coûterait annuellement environ 100 millions de $ en perte agricole au Québec, l'érosion 10 millions de $ et l'acidification 4 millions $. Ces problèmes sont reliés puisque le compactage résulte de mauvaises pratiques agricoles, qu'il réduit l'infiltration de l'eau de pluie et augmente le ruissellement et l'érosion de surface donc la vulnérabilité à la compaction. La perte de sol de surface supérieure à 1 à 7 tonnes par hectare par année menace la permanence de la production agricole. Toutefois, toute perte de sol arable augmente les coûts de production et peut rendre l'agriculture prohibitive à long terme (Conseil des Sciences du Canada, 1981; Ontario Conservation Authorities, 1981; Switzer - Howse, 1983). On a vu que les pertes de sol au Québec pouvaient dépasser ces chiffres fréquemment.

Les sédiments peuvent s'accumuler dans le bas des pentes, dans les fossés et dans les cours d'eau où ils obstrueront les sorties de drain agricole et des ponceaux. Ces derniers impacts occasionneront des coûts d'entretien considérables ou rendront ces structures inopérantes. La mauvaise qualité de l'eau ruisselée pourra la rendre impropre à être utilisée pour l'alimentation du bétail.

2.3 Sur les eaux de consommation

Au Québec, les eaux de surface constituent la principale source d'approvisionnement en eau de consommation (Comité pour une stratégie québécoise de conservation, 1987). Ces eaux doivent évidemment être traitées pour être

propres à la consommation. La réduction des sources de pollution devrait permettre d'amoindrir l'importance du traitement de l'eau potable et des coûts associés. Le Groupe de travail sur le programme d'assainissement des eaux (1986) estimait qu'une politique de conservation des sols est un complément nécessaire à la politique d'assainissement des eaux. Une telle politique n'existe pas actuellement.

2.4 Sur les ouvrages d'art

L'érosion en berge peut être le résultat d'un ouvrage comme elle peut être la cause d'affouillement autour d'un ouvrage. Les glissements de terrain les plus spectaculaires ont souvent entraîné des bouts de routes et même des maisons; heureusement, ces glissements d'envergure sont relativement rares.

Par contre la sédimentation est beaucoup plus fréquente et elle diminue la capacité d'évacuation des ponceaux et peut obstruer les sorties de drains.

2.5 Sur la faune

L'érosion exerce un impact majeur sur la faune, principalement par la sédimentation conséquente. Les sédiments troublent l'eau et se déposent sur les fonds en obstruant les interstices du gravier ce qui étouffe ou chasse les invertébrés qui servent de nourriture au poisson (Swales, 1982). Les graviers cachés sous les sédiments ne peuvent plus servir de frayère aux espèces de poisson qui les utilisent habituellement. Si des oeufs de poisson se trouvent dans le gravier, les sédiments provoquent des mortalités massives en limitant la percolation de l'eau. Les sédiments peuvent aussi nuire aux poissons adultes en endommageant par abrasion leurs branchies, en nuisant à l'alimentation et aux déplacements et en comblant des fosses où ils se réfugient.

2.6 Sur la récréation

Les régions les plus affectées par l'érosion et la sédimentation sont aussi celles les plus peuplées. La pratique d'activité récréative y étant moins intéressante, les adeptes se déplacent sur des distances plus considérables pour exercer leur activité favorite lorsque c'est possible et se désintéressent de leur environnement immédiat.

III LES MÉTHODES DE CONTRÔLE

Dans le champs comme en berge, les méthodes de contrôle sont relativement connues même si des perfectionnements et des connaissances additionnelles sont requis. Un bref exposé des méthodes sera fait ici sans soulever toutefois une foule de considérations importantes d'ordre légal, administratif ou autre qui influencent grandement l'utilisation de ces méthodes. On peut mentionner à titre d'exemple, le coût élevé de certaines méthodes par rapport au déplacement des "sinistrés", les implications légales d'une intervention qui modifie le comportement d'un cours d'eau, les programmes d'aide gouvernementale qui favorisent une des méthodes, etc... Une insistance particulière sera accordée à la stabilisation des berges par les végétaux.

3.1 Contrôle de l'érosion en champ

L'érosion en champ sera amoindrie en appliquant les méthodes appropriées selon le type d'érosion. L'érosion par l'eau sera contrôlée en suivant les quatre objectifs suivants (Switzer-Howse, 1983).

- Dissiper la force d'impact des gouttes de pluie
- Réduire la quantité de ruissellement en surface
- Réduire les vitesses d'écoulement
- Augmenter la cohésion du sol

Certaines solutions pourront s'appliquer à plus d'un objectif en plus de contrôler l'érosion éolienne.

3.1.1 Contrôle de l'érosion éolienne

L'érection de brise-vent est la méthode conventionnelle pour lutter contre cette forme d'érosion. Le brise-vent est une structure artificielle (telle une clôture à neige) ou vivante (telle une haie d'arbres). Plusieurs états

et provinces plus concernés par l'érosion éolienne ont instauré des programmes pour encourager l'implantation de brise-vent fait de rangées d'arbres disposés en travers des vents dominants.

Les brise-vent doivent être semi-perméables pour filtrer le vent plutôt que de le bloquer ce qui créerait des turbulences. Ils aident à préserver un meilleur taux d'humidité dans le sol et ainsi en maintenir la cohésion. Les jeunes semis, plus vulnérables, sont mieux protégés. Les rendements agricoles sont améliorés ce qui compense pour le terrain occupé par les arbres (Glasman et al., 1986; Agriculture Canada, 1985; Harris, 1978; Soltner, 1982).

Le fusionnement des lots et l'enlèvement des anciennes divisions souvent marquées par des haies ont rendu les terres cultivées du Québec plus vulnérables au vent. L'usage de brise-vent s'en trouve plus justifié même si l'érosion éolienne n'est pas la plus grave des formes d'érosion au Québec.

Certaines des méthodes de conservation des sols ci-après mentionnées peuvent également aider à réduire l'érosion éolienne en maintenant un couvert végétal sur le sol.

3.1.2 Réduction de l'impact des gouttes de pluie

Le martellement du sol par la pluie peut être réduit en interceptant les gouttes avant qu'elles n'atteignent le sol. Les labours peuvent être retardés au printemps pour raccourcir la période où le sol est à nu sauf sur certains sols où les rendements baisseraient.

Du point de vue de la qualité de l'eau, les labours du printemps se justifient surtout pour les sols qui contribuent le plus à la charge sédimentaire des cours d'eau tandis qu'ailleurs, la hâte qu'il faut mettre à exécuter ces travaux peut obliger à choisir l'automne pour permettre les semailles le plus tôt possible au printemps.

De même on peut remplacer les labours par un hersage (conservation tillage) qui ne dégage que la bande de sol nécessaire aux semailles tout en laissant le reste du sol couvert. Il existe plusieurs variantes à cette technique. Les herbicides doivent cependant être utilisés plus intensivement pour réduire la compétition des plantes indésirables que le labour aurait éliminées.

Les récoltes peuvent se faire en laissant au sol suffisamment (30%) de résidus des végétaux (Crop residue) (Glasman et al., 1986). On peut aussi prévoir l'usage d'une plante-abri pour cacher le sol après la récolte qui autrement laisserait le sol à nu (Cover cropping) (Glasman et al., 1986; Switzer-Howse, 1983; Thames River Implementation Committee, 1982a).

3.1.3 Réduction du ruissellement

Si on ne peut modifier les caractéristiques météorologiques d'une région, on peut tout de même réduire le ruissellement de surface en favorisant une plus grande infiltration de l'eau dans le sol. On favorisera l'infiltration en préservant et en améliorant la structure du sol (Switzer-Howse, 1983) et en augmentant sa capacité d'absorption d'eau.

La structure du sol serait le principal problème d'érosion en champ au Québec où la compaction coûterait 100$ millions annuellement. Le maintien d'un taux plus élevé de matière organique aide à maintenir la structure et la cohésion du sol. L'utilisation adéquate des fumiers comme engrais, la rotation des cultures et le maintien au sol de résidus de récolte permettent de conserver un taux élevé de matière organique (engrais verts) (Glasman et al., 1986).

On peut aussi préserver la structure du sol en diminuant la compaction due aux méthodes de culture. Ainsi les travaux de la terre sur un sol saturé d'eau sont générateurs de compaction et doivent être évités. On s'efforcera aussi de réduire le nombre de passage de la machinerie agricole qui tasse le sol.

La capacité d'absorption d'eau par le sol sera plus grande sur les sols munis de drains souterrains. Cette mesure abaisse la nappe phréatique et permet au sol d'absorber plus de pluie avant qu'il ne soit saturé et que n'augmente le ruissellement. De plus, le drainage souterrain permet un meilleur enracinement et favorise ainsi la structure du sol; il assèche les terres plus tôt au printemps ce qui permet de hâter les travaux de culture. Par contre, le drainage favorise le lessivage de certains éléments vers les cours d'eau tels l'azote et peut-être aussi le phosphore.

3.1.4 Réduction de la vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement de l'eau peut être réduite en intervenant sur trois facteurs: la pente, sa longueur et la rugosité du terrain.

On peut morceler la longueur de la pente du terrain cultivé en aménageant des terrasses perpendiculaires à celles-ci. Moins l'eau ruisselle longtemps sur une même pente, moins elle prend de vitesse et moins elle a l'énergie pour emporter des particules. Les versants de la terrasse peuvent aussi être cultivés (figure 7) (Glasman et al., 1985).

Le degré de la pente est également déterminant sur la vitesse d'écoulement. La pente du terrain cultivée peut être modifiée lors de la construction de terrasses (figure 8). La pente des voies d'eau peut aussi être prévue lors de la planification des terrasses. Enfin, toutes les voies d'eau, qu'elles soient permanentes ou temporaires peuvent être munies de seuils ou de dénivellation aménagée pour permettre à l'eau de franchir rapidement une hauteur en dissipant de l'énergie (figure 9).

La rugosité du terrain freine l'écoulement de l'eau en terrain cultivé comme dans les voies d'eau. Pour augmenter la rugosité du terrain, on peut conserver au sol de la végétation ou des débris végétaux dans les périodes où le sol est généralement à nu. On peut aussi cultiver en travers de la pente plutôt que dans le même sens; les voies d'eau temporaires devraient être engazonnées ("grassed water ways"); enfin, la culture par bandes permet de laisser des bandes de végétation touffue (fourrage par exemple) entre les

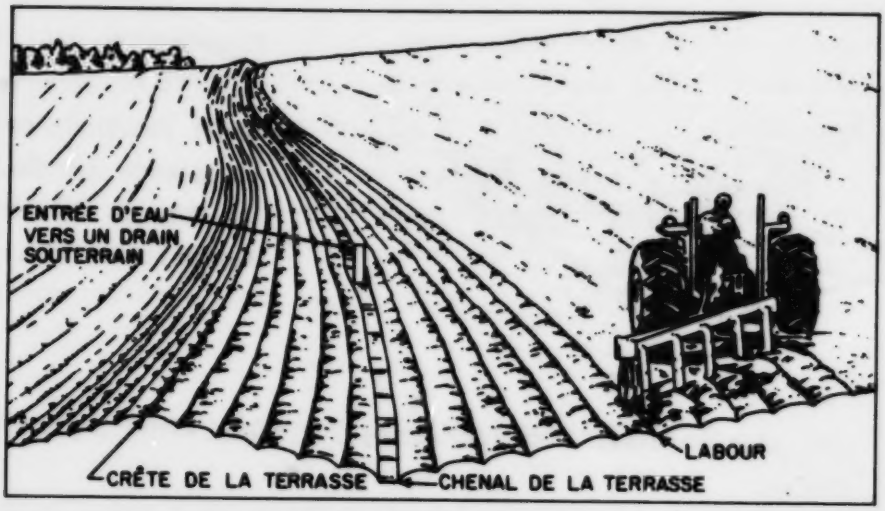


Figure 7: Terrasses de contour et méthode de culture adaptée avec une charrue conventionnelle (Tiré de Upper Thames River Conservation Authority, 1986).

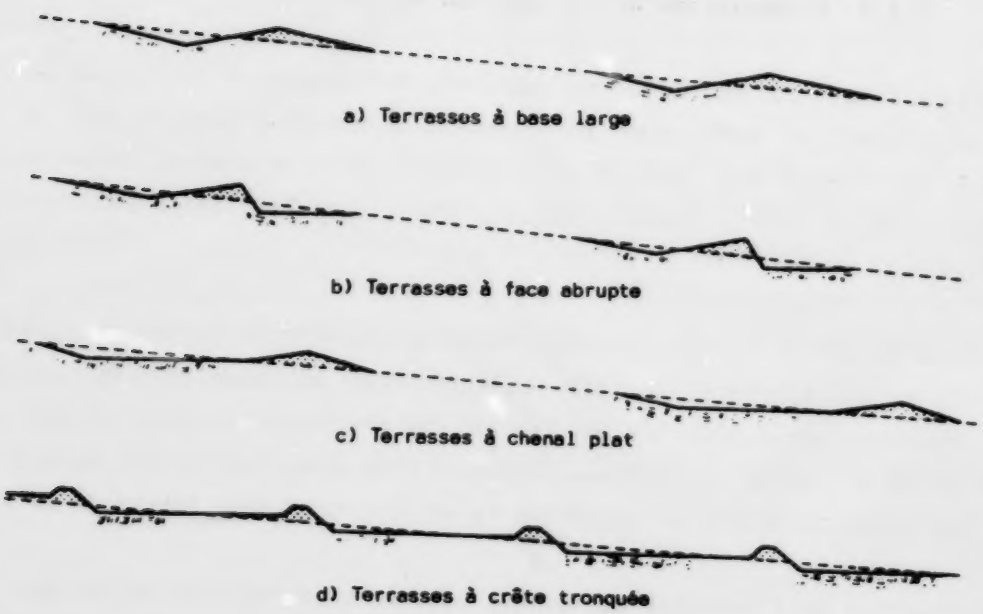


Figure 8: Modèles variés de terrasses pour les cultures en contour des pentes (Tiré de Switzer-Howse, 1983).

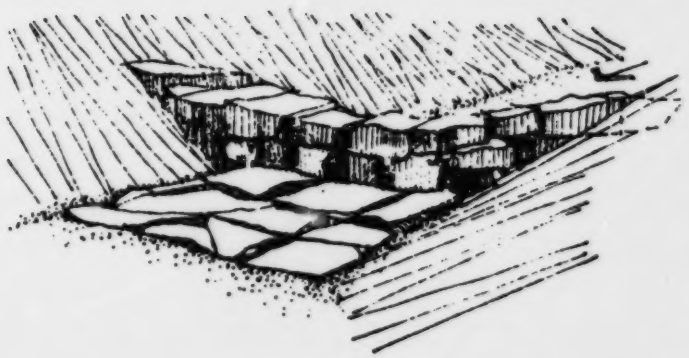


Figure 9:

Seuil construit en blocs de pierre carrés (Tiré de Ontario Conservation Authorities, 1981).

bandes de sols plus exposées ("stripcropping") (Thames River Implementation Committee, 1982a).

L'ensemble de mesures prises pour réduire la vitesse d'écoulement pourra s'avérer inutile si aucune mesure n'est prise pour contrôler l'érosion en nappe qui viendra déposer des sédiments dans les voies aménagées et les rendre inopérantes.

3.1.5 Augmentation de la cohésion du sol

La cohésion du sol est maintenue ou améliorée en augmentant le contenu en matière organique, en conservant suffisamment d'humidité dans le sol et en adaptant les travaux des champs pour limiter la période pendant laquelle les sols sont à nu et hersés (Glasman et al., 1985; Gosselin, 1987; Ontario Conservation Authorities, 1981).

Le contenu en matière organique est favorisé par l'utilisation rationnelle d'engrais animal (fumiers) ou vert (cultures pour mélanger au sol). La matière organique sera conservée en évitant de pratiquer la même culture qui appauvrit le sol année après année (monocultures annuelles) et en évitant de mêler les horizons du sol ce qui dilue la matière organique totale du sol.

La conservation de l'humidité du sol est assurée en maintenant la matière organique et en évitant de rabattre excessivement la nappe phréatique par du drainage souterrain. L'utilisation de brise-vent est aussi un atout, en par-

ticulier lors des périodes sèches, pour conserver un minimum d'humidité. Il y a par contre un juste milieu à atteindre car un excès d'humidité engendre la compaction du sol lors des travaux et restreint la croissance des plantes.

La préparation du lit de semence pulvérise les mottes en terre fine facilement érodable par l'eau et le vent. Cette préparation du sol a intérêt à se faire simultanément ou très peu de temps avant les semailles.

3.2 Contrôle de l'érosion en cours d'eau et en berge

L'érosion en cours d'eau et en berge est le résultat de phénomènes physiques et d'interventions par l'homme sur le territoire. Le contrôle de l'érosion se fera donc en agissant à ces deux niveaux.

On peut distinguer les mesures préventives des mesures correctives ou compensatoires: les dernières servent à posteriori tandis que les mesures préventives anticipent le problème et visent à l'éviter ce qui est souvent beaucoup plus économique. Les mesures de contrôle de l'érosion en champ peuvent être considérées comme des mesures préventives pour les cours d'eau qui seraient détériorés par la charge sédimentaire.

La protection des talus et du haut du talus est aussi une mesure préventive tellement évidente qu'elle est souvent oubliée. Le piétinement des berges par le bétail, l'enlèvement de la végétation (péjorativement désignée "fardoche") et les travaux de culture trop rapprochés de l'eau sont trop souvent les déclencheurs de l'érosion en cours d'eau et en berge amplifiés ensuite par les facteurs physiques.

Les autres méthodes de contrôle de l'érosion sont ci-après décrites brièvement (tableau 2).

Tableau 2. Efficacité de différentes mesures correctives pour solutionner les principaux problèmes en berge

Mesure corrective utile ●
très utile ◉
tout à fait adéquate ○

	SAPPEMENT par le courant	par les débris	par les glaces	par boulance	MOUVEMENT DE MASSE écroulement	glissement rotationel	glissement en plan	RAVINEMENT	ÉROSION RETROGRESSIVE
Protection contre bétail, machinerie, dévégétation de berge	○	○	●	●	●	○	○	●	●
Entretien de la végétation riveraine	○	○	●	●	●	●	●	○	●
Enlèvement des débris et des sédiments	○	●							
Stabilisation par la végétation	○	●	○	●	○	●	●	○	●
Stabilisation par des matériaux inertes	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reconstruction des berges	●		●		●	●	○	○	
Sortie de drains et de fossés	●							○	●
Interception du ruissellement				●				●	
Interception de la nappe ou des sorties de drain	○			●					
Aménagement de seuils	○								
Aménagement de cours d'eau allégé	○	●	○	○				○	

3.2.1 Entretien de la végétation riveraine

La végétation des rives offre plusieurs avantages: elle intercepte une partie des précipitations et elle protège le sol contre le martellement de la pluie; elle ralentit le ruissellement de surface et favorise le captage des sédiments ruisselés provenant des terrains adjacents; elle maintient le sol par son système racinaire; elle évacue une partie de l'eau souterraine par évapo-transpiration et enfin elle sert de support, d'abri et de nourriture à la faune.

L'entretien de la végétation a pour but de maintenir ces fonctions. L'entretien aura donc comme objectif de garder la végétation en place, de sélectionner les espèces et les sujets les plus utiles et de revégéter les secteurs dénudés.

Certaines caractéristiques des plantes offrent plus d'intérêt pour le contrôle de l'érosion et des mouvements de masse (Gray and Leiser, 1982; Schiechtl, 1980).

La **résistance aux forces mécaniques**, par exemple le dépôt de sol par-dessus les racines ou l'exposition des racines suite à l'érosion, sera plus manifeste chez certaines espèces telles que les saules, les cornouillers et les pins.

Les **caractéristiques racinaires** seront importantes et selon les types de problème, la rigidité, la souplesse et la facilité de regénération seront appréciées. Les espèces ligneuses testées ont montré plus de résistance à la tension que les herbacées. Par rapport à des matériaux artificiels, les racines ont l'avantage de s'adapter aux changements et à se regénérer plutôt que d'être altérées. Elles ont aussi la propriété de diminuer la pénétration du gel.

La **profondeur des racines** sera recherchée si on craint des mouvements de masse alors que des racines superficielles aideront à protéger un sol vulnérable à l'érosion de surface. Un mélange de plantes à racines profondes et superficielles est parfois le meilleur choix (figure 10).

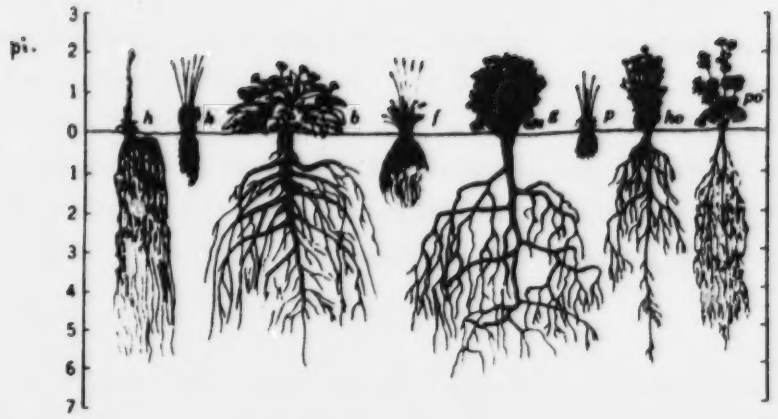


Figure 10: Illustration de différents types de systèmes racinaires chez des plantes de prairies dans un même type de sol (Weaver in Gray and Leiser, 1982).

Certaines plantes ont la propriété de s'associer avec des **bactéries capables de fixer l'azote.** Cette propriété incite à choisir de telles plantes lorsque le sol est pauvre.

Des plantes dites **phréatophytes** ont une évapo-transpiration plus marquée et peuvent servir quand on veut abaisser le taux d'humidité du sol pour prévenir un mouvement de terrain.

De façon générale, les espèces ligneuses (arbustes et arbres) augmentent les forces de cisaillement (friction) des sols et améliorent la stabilité des pentes. Les racines sont suffisamment longues et résistantes pour ne pas être arrachées. Les racines d'arbres servent de butoir et de pilier en bas de pente et maintiennent les sols en place. Même le poids des arbres est généralement un atout pour stabiliser la pente. L'enlèvement de la végétation ligneuse amplifie les problèmes de stabilité de talus.

L'utilisation de la végétation peut être combinée avec d'autres techniques de stabilisation de pentes pour redonner une apparence plus naturelle au site aménagé lorsque des techniques lourdes s'imposent (Sotir, 1986).

3.2.2 Enlèvement des débris et des sédiments

L'enlèvement des débris et des sédiments permet aux crues d'être évacuées sans causer d'inondation, de déviation du courant vers l'une des berges et sans provoquer l'érosion d'un chenal de contournement. Cela consiste à enlever les débris amenés par l'eau, à enlever les arbres inclinés qui menacent de culbuter en travers du cours d'eau et à maintenir la profondeur du cours d'eau (nettoyage des atterrissements). Évidemment, on ne devrait même pas avoir à signaler que le rejet d'ordures dans les cours d'eau et sur les berges est nuisible et à éviter.

3.2.3 Stabilisation par la végétation

L'utilisation des végétaux pour stabiliser les pentes est la technique la moins coûteuse et en même temps la plus respectueuse de l'environnement. Elle est souvent suffisante pour stabiliser les berges et ajoute à la beauté du paysage. La végétation est aussi source d'abri, de nourriture et de support à la faune, particulièrement les essences ligneuses.

Les éléments soulevés au point 3.2.1 sont tout aussi pertinents en regard des projets de stabilisation. À ces considérations doivent s'ajouter les suivantes:

- La résistance à des conditions climatiques variables et rigoureuses (inondations, sécheresse, gel...) et la plasticité face à des environnements diversifiés (type de sol, taux d'humidité...) sont deux qualités de première importance en regard du succès de reconstitution du couvert végétal.

- On pourra être restreint par la disponibilité des espèces végétales. Un inventaire de la végétation des environs permettra de connaître les espèces adaptées et disponibles pour du bouturage.

- On devra tenir compte de la rapidité avec laquelle on veut voir la végétation coloniser le sol.

- Diverses modalités d'ensemencement et de plantation sont disponibles. On peut en particulier prévoir l'utilisation de paillis pour protéger les semences, conserver l'humidité du sol et limiter l'érosion. La colonisation en essences ligneuses sera accélérée par la plantation de plançons (tiges non enracinées), de boutures enracinées ou de plants en pot.

- Certains arbres et arbustes produisent des fruits ou des graines recherchées par la faune (cerisier, sorbier, sureau, cornouillers, viornes...). D'autres constituent un excellent support à la nidification (aubépine, chêne) (Paquet et Houde, 1986; Sharp, 1977).

3.2.4 Stabiliser par des matériaux inertes

Cet ensemble de techniques est des plus efficaces mais aussi de prix beaucoup plus élevé. Les matériaux doivent être achetés, transportés et installés. Ces coûts se justifient pour une application localisée et des sols sensibles à l'érosion.

On peut stabiliser une berge par un enrochement en blocs, par l'utilisation de gabions (caissons de broche galvanisée chargés de pierres), par des murs de soutènement ou autrement. À ces matériaux peuvent être incorporées des tiges d'arbustes pour reconstituer un écran végétal (figures 11 et 12). En bordure de l'eau ou dans l'eau, les gabions ne sont pas recommandés car la broche, même galvanisée, est soumise à la corrosion, cède et laisse fuir les pierres. Les documents produits dans le cadre du programme Berges neuves fournissent beaucoup d'informations et d'illustrations pour ces techniques (Ministère de l'environnement du Québec, 1985).

3.2.5 Reconstruction des berges

Les berges qui ont été sapées ou qui ont subi des mouvements de masse doivent parfois être reconstruites ou adoucies avant de leur appliquer une stabilisation par des végétaux ou par des matériaux inertes. Le Thames River Implementation Committee (1982) recommande les pentes suivantes selon le type de sol:

Type de sol	Pente (vertical: horizontal)
Tourbe et terre noire	1:1
Argile (plus de 35%)	1:1,5
Loam (10% à 35% d'argile)	1:2
Sable (moins de 10% d'argile)	1:3
Argile sensible	1:4
Sable ou limon détrempé	1:4

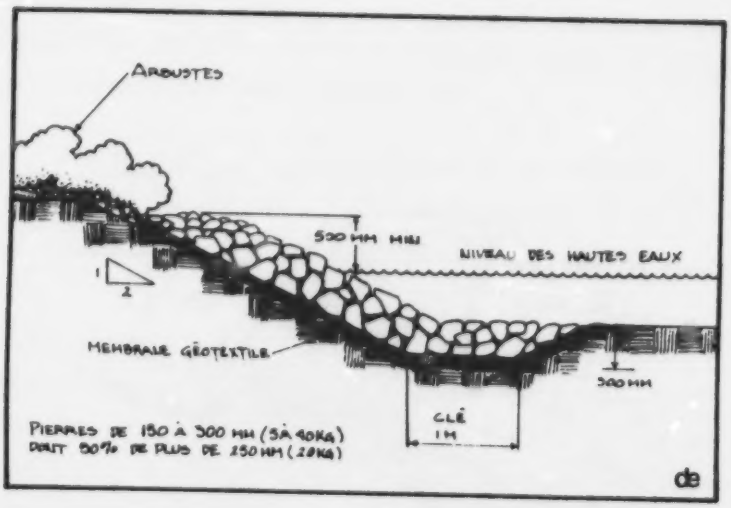


Figure 11: Perré protecteur conçu pour une pente de 1:2, des vagues de 500 mm et une vitesse maximum du courant de 1,5 m/sec. (Tiré de Ministère de l'Environnement du Québec, 1985).

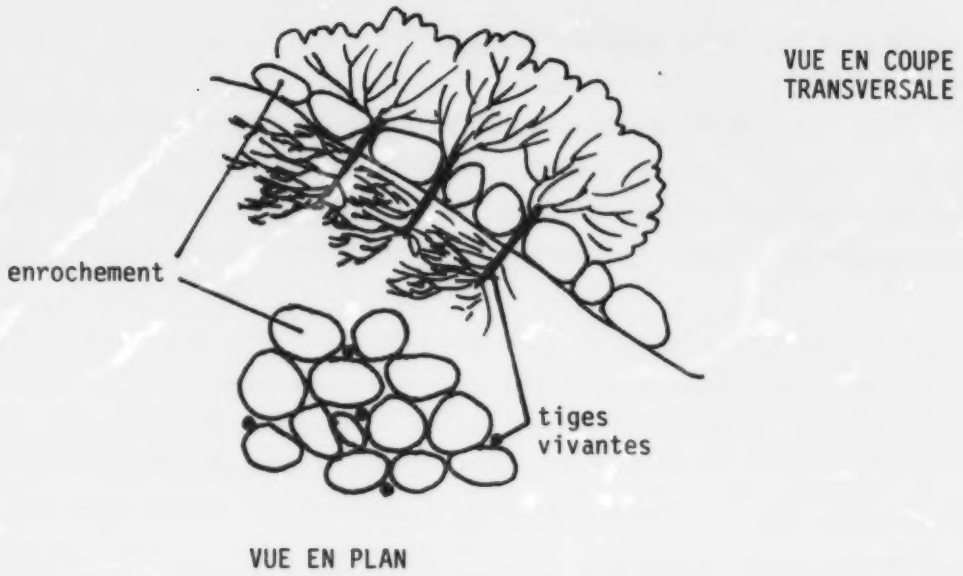


Figure 12: Stabilisation par enrochement et plantation combinés (Tiré de Sotir, 1986).

3.2.6 Sorties de drains et de fossés

L'arrivée d'un drain ou d'un fossé dans un cours d'eau est un contexte où l'utilisation de matériaux inertes s'impose pour empêcher le courant d'éroder le lit ou la berge opposée (figure 13).

Figure 13: Sortie de drain protégée contre l'érosion (tiré de Conseil des productions végétales du Québec, 1976).

3.2.7 Interception du ruissellement

Pour contrer le ravinement causé par le ruissellement provenant des terres vers le talus, une dépression peut être aménagée en haut du talus pour intercepter les eaux et les acheminer vers une sortie stabilisée par un enrochement (figure 14).

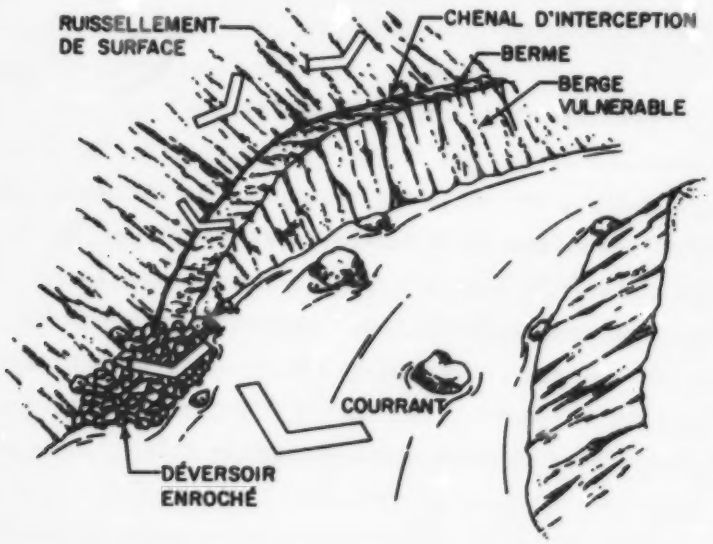


Figure 14: Interception et diversion des eaux de ruissellement (tiré de Ontario Conservation Authorities, 1981).

3.2.8 Interception de la nappe et des sorties de drain

Pour prévenir le phénomène de boulance ou pour intercepter les drains agricoles arrivant au cours d'eau, un collecteur peut être installé en parallèle à celui-ci. Le suintement sera réduit dans le cas de la boulance; le nombre de sorties de drain protégées à aménager sera restreint dans le cas de drainage souterrain.

3.2.9 Aménagement de seuils

Tel qu'exposé au chapitre 3.1.4, les seuils aident à freiner l'écoulement et permettent de dissiper de l'énergie. Il en existe une multitude de modèles mais le principe reste le même; un obstacle est dressé en travers du courant et occasionne une chute rapide vers une surface protégée capable de résister à l'érosion (fosse pavée de pierres).

3.2.10 Aménagement de cours d'eau "allégé"

L'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles subventionné par le programme SOL-PLUS du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec a intérêt à être pratiqué dans l'optique du minimum nécessaire. En effet, ces aménagements perturbent l'équilibre établi et doivent être accompagnés de mesures correctives. Moins l'intervention sera importante, moins les mesures correctives auront de l'ampleur. Ces mesures correctives n'ayant pas toujours l'efficacité souhaitée, le risque en sera réduit d'autant.

IV DISCUSSION ET CONCLUSION

L'érosion est un phénomène naturel que l'activité humaine peut amplifier au point de lui mériter l'attribut de problème. Ce problème prend de l'ampleur en milieu agricole, surtout avec l'évolution qu'a connu l'agriculture dans les dernières décennies. Il prend des proportions qui mettent en danger la viabilité même de l'agriculture, en emportant également avec lui la valeur des cours d'eau qui permettait d'autres usages.

Il n'y a pas de solution simple pour régler ce problème car il a des nombreuses causes dont des causes économiques, sociales et politiques. De plus, même si plusieurs techniques sont exposées brièvement dans ce travail, il faut souvent en appliquer plus d'une pour obtenir les résultats espérés. De même, il n'y a pas suffisamment d'incitatifs pour encourager les producteurs aux prises avec l'érosion à renverser la situation.

Enfin, les techniques qu'on verra exposées avec plus de détails dans les ouvrages de référence devront être modulées selon les conditions d'application telles que nature du sol, pente, type de culture, de machinerie, climat... L'usage de la végétation comme outil de stabilisation offre un intérêt qui a été négligé mais que le génie-biologique ("bio-engineering) remet en lumière.

V BIBLIOGRAPHIE

AGRICULTURE Canada, 1985. Prairie soil, prairie water, the PFRA story.Prairie Farm Rehabilitation Administration, 32 pages.

BELZILE, F., J. Lavigne, G. Lemieux et R. Veilleux, 1980. L'eau et l'aménagement du Territoire. Office de Planification et de Développement du Québec, Ed. Officiel Québec, 204 p. et 19 cartes.

COMITÉ pour une stratégie Québécoise de conservation, 1987. De l'eau à la vie in Mead, 1987, pages 165-185.

COMITÉ sénatorial permanent de l'agriculture des pêches et des forêts, 1984. Nos sols dégradés. Le Canada compromet son avenir. Rapport au Sénat du Canada, 143 pp.

CONSEIL des productions végétales du Québec, 1976. Drainage souterrain - Information générale. Ministère de l'agriculture du Québec, adgex 555, 40 pages.

CONSEIL des sciences du Canada, 1986. La dégradation du sol au Canada: un mal en progression. Déclaration du Conseil, 24 pp.

COOTE, D.R., 1983. La recherche sur l'érosion au Canada (hors Québec). 51º congrès de L'ACFAS; colloque sur l'érosion accélérée et anthropique; ses conséquences sur l'environnement, pp. 4-14.

DION, L., 1987. Pollution diffuse agricole. Congrès annuel de L'ACFAS in Mead, 1987.

ENVIRONNEMENT Canada, 1981. Canada Water Year Book, 1979-1980. Water Research Edition. Centre de Public, du Gouvernement Canadien, Hull, 132 pages.

GOUDREAU, L., F. Boudreau et C. Dubreuil, 1986. Contribution du Québec à l'atteinte des objectifs de la stratégie mondiale de la conservation. Ministère de l'Environnement du Québec, Dir. Patrimoine Écologique, 180 p.

GLASMAN, G., A. Graham, E. O'Neil Krebs, C. Shaw, 1986. Structural erosion control measures on agricultural lands - Alternatives and maintenance. Upper Thames River Conservation Authority, 20 pages.

GOSSELIN, G., 1987. Dégradation des sols. Congrès annuel de l'ACFAS in Mead, 1987.

GRAY, D.H. et A.T. Leiser, 1982. Biothechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold Co, N.Y., 271 pp.

GROUPE de travail sur la programme d'assainissement des eaux du Québec, 1986. Rapport du groupe de travail sur le programme d'assainissement des eaux au Québec. Rapport pour le Ministère de l'environnement du Québec, 49 pages et 8 annexes.

HARRIS, R.F., 1978. Plantations de brise-vent pour la région de Rivière de la Paix. Ministère de l'agriculture du Canada, services d'information, 26 pages.

HYDROTECH Inc., 198 . État de connaissance et prospectives sédimentologiques des eaux douces du Québec. Rapport consultatif pour Environnement Canada et Ministère Environnement du Québec, 140 pages.

KEOWN, M.P., 1983. Streambank protection guidelines for landowners and local governments. V.S. Army Engineer Waterways Experiment station, 60 p.

KESTERMAN, J.-P., G. Boisclair et J.M. Kirouac, 1984. Histoire du syndicalisme agricole au Québec. Boréal Express, Montréal, 327 pp.

LAGACÉ, R. Éd., 1979. Construction et aménagement des cours d'eau en milieu agricole. 7º Colloque de Génie Rural, Dép. Génie Rural, Fac. Sci. Agriculture et Alimentation Univ. Laval.

LANCERY, J.M. et C. Caron, 1983. La reprise de l'érosion linéaire et l'amélioration du drainage souterrain et superficiel. 51° Congrès annuel de L'AFCAS - Colloque sur l'érosion accélérée et anthropique; ses conséquences sur l'environnement, pp. 56-77.

LANDRY, B. et M. Mercier, 1983. Notions de géologie avec exemples du Modulo éditeur, Montréal, 437 pages.

MEAD, Harvey-L., 1987. L'état de l'environnement au Québec. Un bilan des milieux agricole, forestier et aquatique. Actes au colloque, Association canadienne-française pour l'avancement des sciences - Union Québécoise pour la conservation de la nature, 212 p.

MINISTÈRE de l'Environnement du Québec, 1985. Guide technique de mise en valeur du milieu aquatique. Programme Berges neuves, 43 pages.

MEHUYS, G., 1981. L'érosion par l'eau. Ministère de l'Agriculture, Pêcheries et Alimentation, Agdex 572, 15 pp.

ONTARIO, Conservation Authorities, 1981. Conservation Services Manual. Volume 1 Erosion Control. Ontario Ministry of Natural Resources, 137 pages.

PAQUET, G et B. Houde, 1986. Plantes indigènes particulièrement recherchées par les oiseaux pour se nourrir. Ministère de l'environnement du Québec, brochure, 4 pages.

PAYEN, J., C. Bernard et J.M. Cossette, 1983. Étude du potentiel d'érosion des sols à l'échelle du bassin versant. 51° Congrès de l'ACFAS; colloque sur l'érosion accélérée et anthropique; ses conséquences sur l'environnement, pp. 31-41.

PELLETIER, R., 1987. L'intensification de l'agriculture québécoise entre 1961 et 1986. Congrès annuel de l'ACFAS in Mead, 1987.

ST-YVES, A., 1983. L'instabilité des berges, des cours d'eau municipaux. 51° Congrès de l'ACFAS; colloque sur l'érosion accélérée et anthropique; ses conséquences sur l'environnement, pp. 42-54.

SARRAZIN, R., M. Cantin, A. Gagnon, C. Gauthier et G. Lefebvre, 1983. La protection des habitats fauniques au Québec. Ministère, Loisir, Chasse et Pêche, Groupe de Travail pour la Protection des habitats. (256 p.)

SHARP, W. Curtis, 1977. Conservation Plants for the Northeast U.S. Dept. Agriculture Soil Conservation Service Program Aid N° 1154.

SOLTNER, D., 1982. Planter des haies, brise-vent, bandes boisées... Collection Sciences et Techniques Agricoles, Angers, France, 82 pages.

SOTIR, R., 1986. Génie biologique comme technique pour la stabilisation des rivages. Séminaire pluridisciplinaire de l'Université de Montréal et du Ministère Loisir, Chasse et Pêche sur l'aménagement, 14 pages.

SWALES, S., 1982. Environnemental effects of river channel works used in land drainage improvenant. J. Environnemental Management, 14: 103-126.

SWITZER-Howse, K.D., 1982. Agriculture Management practices for improved water quality in the Canadian Great Lakes Basin. Agriculture Canada, Research, Branch. LRRI Contribution N° 82-10, 117 pp.

THAMES River Implementation Committee, 1982a. Practical Guide for Agricultural Erosion Control. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Ministry of the Environment, Ministry of Natural Resources, 26 pages.

THAMES River Implementation Committee, 1982b. Practical Guide for Municipal Drains. Ontario Ministry of Agriculture an Food, Ministry of the Environment, Ministry of Natural Resources, 22 pages.